

012793922 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1999-600149/199951  
XRPX Acc No: N00-153416

Trans mission of data signals over a high voltage power line uses coupling stages to introduce data signals onto power lines  
Patent Assignee: ABB RES LTD (ALLM )

Inventor: DZUNG D

Number of Countries: 027 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
NO 9901630	A	19991004	NO 991630	A	19990406	199951 B
DE 19815040	A1	19991007	DE 1015040	A	19980403	200007
CN 1233887	A	19991103	CN 99105565	A	19990402	200011
EP 948143	A2	19991006	EP 99810219	A	19990311	200019

Priority Applications (No Type Date): DE 1015040 A 19980403

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
EP 948143	A2	G	6 H04B-003/54	

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LT  
LU LV MC MR NL PT RO SE SI

NO 9901630	A	H04B-003/54
------------	---	-------------

DE 19815040	A1	H04B-003/56
-------------	----	-------------

CN 1233887	A	H04B-003/54
------------	---	-------------

Abstract (Basic): EP 948143 A2

NOVELTY - The high voltage electrical power lines (1-3) are connected to couplers (8-10) that also allow data signals (X1-X3) to be introduced and transmitted as well. The data signals are received by a combination circuit (4) and are converted into a modulated form. At the receiver end the signals are decoupled from the power supply voltage.

USE - Data transmission

ADVANTAGE - High transmission rate

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - Block diagram

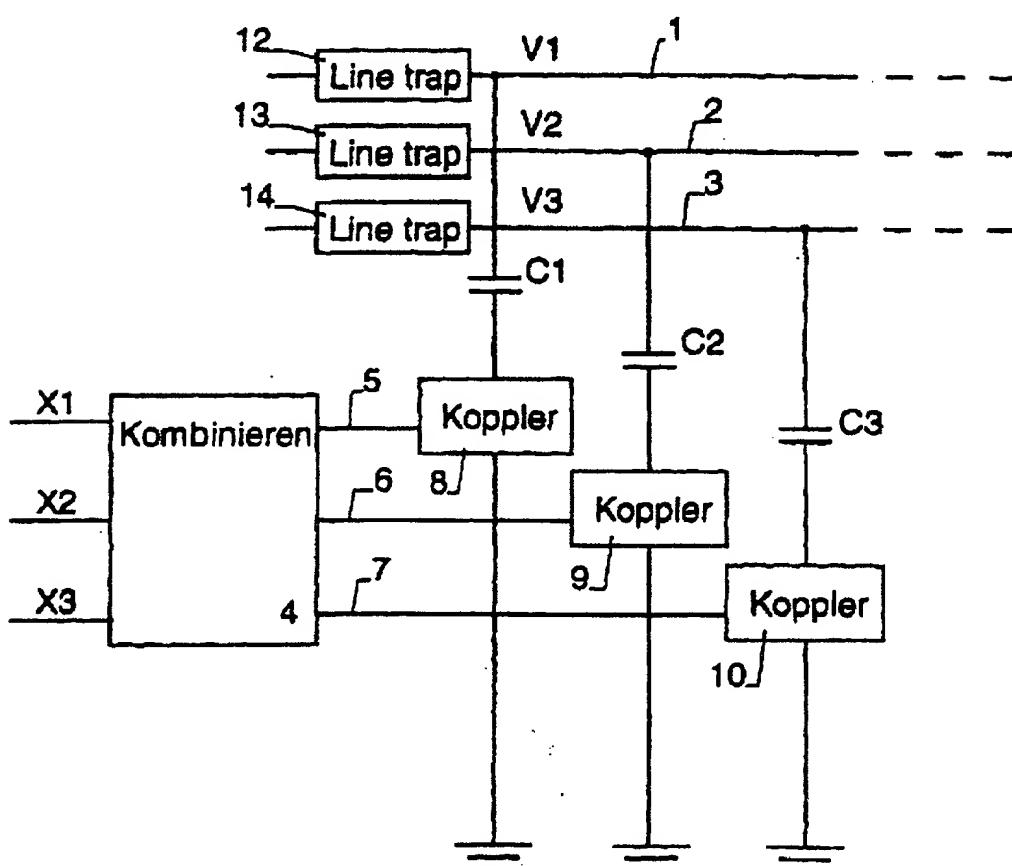
Electrical power lines (1-3)

Couplers (8-10)

Data signals (X1-X3)

Combination circuit (4)

pp; 6 DwgNo 1/2



Title Terms: TRANS; MISSION; DATA; SIGNAL; HIGH; VOLTAGE; POWER; LINE; COUPLE; STAGE; INTRODUCING; DATA; SIGNAL; POWER; LINE

Derwent Class: W02; X12

International Patent Class (Main): H04B-003/54; H04B-003/56

International Patent Class (Additional): G08C-019/00; H03H-021/00

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): W02-C01A3; X12-H03E



(19) Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11) EP 0 948 143 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
06.10.1999 Patentblatt 1999/40

(51) Int Cl. 6: H04B 3/54, H04B 3/56

(21) Anmeldenummer: 99810219.8

(22) Anmeldetag: 11.03.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 03.04.1998 DE 19815040

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder: Dzung, Dacfey, Dr.  
54330 Wettigen (CH)

(74) Vertreter: Clerc, Natalia et al  
ABB Business Services Ltd,  
SLE-I, Intellectual Property  
5401 Baden (CH)

### (54) Verfahren und Vorrichtung zur Signalübertragung über Stromversorgungsleitungen

(57) Auf einer Hoch- oder Mittelspannungsleitung (1, 2, 3) werden mehrere inhaltlich unterschiedliche Signale (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>) übertragen. Hierzu werden die Signale zuerst linear kombiniert und dann über Koppler (8, 9, 10) in die Leitung eingespielt. Empfängerseitig

werden die Signale entkoppelt und demoduliert. Zur Entkopplung werden adaptive Techniken verwendet, welche es erlauben, die drei Signale unabhängig von sich verändernden Übertragungseigenschaften der Leitung wieder herzustellen.

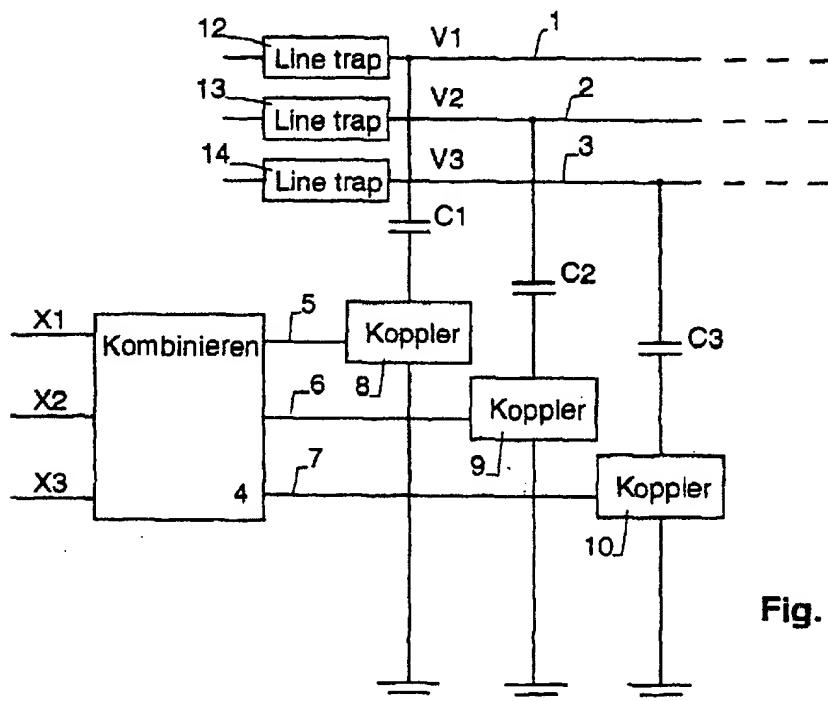


Fig. 1

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Übertragen von Signalen über eine Stromversorgungsleitung, insbesondere eine Hoch- oder Mittelspannungsleitung, gemäss Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

[0002] Sogenannte Power Line Carrier (PLC) Systeme zur Datenübertragung über Hoch-, Mittel- oder Niederspannungsleitungen sind wohlbekannt. In der Regel wird dabei ein Datensignal, welches z.B. Steuerdaten oder Sprache enthält, auf einen Träger aufmoduliert, und das modulierte Trägersignal wird in eine oder mehrere der Phasen und/oder in eine Abschirmung der Leitung eingekoppelt. Bei der Ausbreitung des Signals entlang der Leitung kommt es zu einer Signalkopplung zwischen den einzelnen Leitern, so dass alle Leiter zur Signalübertragung beitragen. Am Ort des Empfängers wird das Signal sodann aus einem der Leiter ausgekoppelt und demoduliert.

[0003] Zur Erhöhung der Datenübertragungsraten wurde z.B. versucht, Störungen möglichst gut zu unterdrücken oder herauszufiltern und/oder höhere Trägerfrequenzen einzusetzen, wobei man hierbei jedoch an Grenzen physikalischer Natur stösst.

[0004] Es stellt sich deshalb die Aufgabe, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, die höhere Übertragungsraten erlaubt.

[0005] Diese Aufgabe wird vom Gegenstand der unabhängigen Ansprüche erfüllt. Erfindungsgemäss werden also aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen mehrere unterschiedliche Sendesignale erzeugt, wobei jedes Sendesignal in mindestens einen der Leiter eingekoppelt wird. Bei der Ausbreitung entlang der Hoch- bzw. Mittelspannungsleitung kommt es sodann zwar zu einer Vermischung der Signale - überraschenderweise zeigt es sich aber, dass es möglich ist, die Signale beim Empfänger wieder zu trennen und so die ursprünglichen Datensignale zu rekonstruieren.

[0006] In einer besonders einfachen Ausführung werden die Sendesignale im Sender als eine Linearkombination der auszusendenden Datensignale erzeugt bzw. die Empfangssignale werden im Empfänger linear kombiniert, um die Datensignale zu rekonstruieren.

[0007] Die Vorschrift zum Ermitteln der Datensignale aus den Empfangssignalen wird vorzugsweise in einer Kalibrierungsphase ermittelt. Hierbei werden senderseitig Kalibriersignale vorbestimmter Form erzeugt und empfängerseitig werden die entsprechenden Empfangssignale analysiert. Hierzu werden z.B. die Kalibriersignale derart gewählt, dass ihre Kreuzkorrelationen Null sind und ihre Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen. In diesem Fall können durch Berechnung der Korrelation zwischen den empfangenen Signalen und den vorgegebenen Signalformen die Übertragungscharakteristika der Übertragungsleitung und gegebenenfalls der Koppleranordnungen ermittelt werden.

[0008] Durch wiederholte Kalibrierungsphase zwischen normalen Betriebsphasen wird es zudem möglich, ändernde Übertragungseigenschaften der Starkstromleitung, z.B. aufgrund von Witterungseinflüssen, zu berücksichtigen.

[0009] Weitere bevorzugte Ausführungen und Anwendungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 die senders seitige Ausgestaltung einer Hochspannungsleitung mit Schaltungselementen zum Erzeugen und Einkoppeln der Sendesignale und

Fig. 2 die empfängers seitige Ausgestaltung der Hochspannungsleitung nach Fig. 1 mit den Schaltungselementen zum Auskoppeln und Demodulieren der Empfangssignale.

[0010] Die Figuren 1 und 2 zeigen eine mögliche Ausführung der Erfindung an einer Hochspannungsleitung mit drei Leitern 1, 2 und 3. Jeder dieser Leiter trägt eine Hochspannung von z.B. 500 kV. Die hier gezeigten Konzepte sind jedoch auch bei Hoch-, Mittel- und Niederspannungsleitungen mit einer anderen Zahl und Konfiguration von Leitern anwendbar.

[0011] Senderseitig liegen drei inhaltlich unterschiedliche Eingangs-Datensignale X1, X2 und X3 vor. Diese können z.B. von drei unterschiedlichen Signalquellen stammen oder durch Seriell/Parallelumwandlung eines einzigen seriellen Signals erzeugt worden sein. Die Datensignale X1, X2 und X3 werden in eine Kombinierschaltung 4 eingespielen, wo sie in weiter unten beschriebener Weise verknüpft werden. Die so erzeugten Signale 5, 6, 7 werden über drei Koppler 8, 9 und 10 mit Koppelkondensatoren C1, C2 und C3 in die Leitungen 1, 2 bzw. 3 eingekoppelt und erzeugen dort Sendesignale mit komplexer Amplitude V1, V2 und V3. Hierzu können z.B. konventionelle Kopplerschaltungen verwendet werden.

[0012] Vor der Einkopplung müssen die Signale einer Trägerfrequenz von z.B. einigen 100 kHz aufmoduliert werden. Dies kann entweder bereits vor der Kombinierschaltung 4 oder zwischen Kombinierschaltung 4 und Koppler 8, 9 bzw. 10 geschehen.

[0013] In der vorliegenden Ausführung sind die Leitungen gegen eine Seite hin über sog. "Line traps" 12, 13 und 14 abgeschirmt, so dass sich die Signale V1, V2 und V3 nur auf die andere Seite ausbreiten können. Da bei dieser

## EP 0 948 143 A2

Ausbreitung die Signale der Trägerfrequenz nicht auf den drei Leitungen lokalisiert bleiben, kommt es zu einer starken Durchmischung und ausgangsseitig liegen Empfangssignale V'1, V'2 und V'3 vor, die in der Regel nicht mehr die gleiche Amplitude und Phase wie die Sendesignale V1, V2 bzw. V3 aufweisen.

5 [0014] Die Empfangssignale V'1, V'2 und V'3 werden über Kondensatoren C4, C5, C6 und Koppler 20, 21, 22 ausgekoppelt und über drei Leitungen 23, 24, 25 einer Trennschaltung 26 und einer Rückrechnungsschaltung 27 zugeführt. In diesen Schaltungen werden die Empfangssignale sodann in einer weiter unten beschriebenen Weise getrennt und verarbeitet, um die ursprünglichen Datensignale X1, X2 und X3 zu erhalten. Trennung und Rückrechnung können auch in einem einzigen Schritt bzw. einer kombinierten Auswerteschaltung gleichzeitig stattfinden.

10 [0015] Die empfangenen Signale müssen vor einer Verarbeitung von der Trägerfrequenz getrennt werden. Dies kann entweder vor oder nach der Trennschaltung 26 und der Rückrechnungsschaltung 27 geschehen.

[0016] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass über eine Leitung mit k Leitern in der Regel bis zu k PLC-Signale gleicher Frequenz übertragen werden können. Hierzu werden die senderseitigen Sendesignale V1, V2, V3 als eine Linearkombination der Eingangs-Datensignale X1, X2 und X3 erzeugt. In Matrix-schreibweise:

15

$$V = C1 \cdot X, \quad (1)$$

wobei V der Vektor {V1, V2, ..., Vk} der Sendesignale, X der Vektor {X1, X2, ..., Xm} der Eingangs-Datensignale und C1 eine Matrix der Verknüpfungskoeffizienten ist.

20 [0017] Die empfängerseitigen Spannungssignale V' = {V'1, V'2, ..., V'k} sind

$$V' = H \cdot V + N, \quad (2)$$

25 wobei die kxk-Matrix H die verallgemeinerte Transfermatrix der Leitung und N ein additives Rauschen ist. In der Trennschaltung 26 werden aus den Empfangssignalen V' die Ausgangssignale Y = {Y1, Y2, ..., Ym} durch lineare Kombination berechnet;

30

$$Y = C2 \cdot V'. \quad (3)$$

Somit gilt

35

$$Y = C2 \cdot H \cdot C1 \cdot X + C2 \cdot N = A \cdot X + g \quad (4)$$

wobei A als Kanalmatrix und g als Rauschvektor bezeichnet wird. Gleichung (4) wird in der Rückrechnungsschaltung 27 näherungsweise nach X aufgelöst:

40

$$X = L \cdot Y. \quad (5)$$

[0018] In erster Näherung kann unter Vernachlässigung des Rauschens L = A<sup>-1</sup> gesetzt werden. Stabilere Verfahren mit kleinsten quadratischer Abweichung sind jedoch bekannt, siehe z.B. G. Strang, *Linear Algebra and its Applications*, Harcourt Brace Javonich, 1988. Wenn X ein komplexes Vektorsignal mit bekanntem Spektrum ist, können auch Wiener-Filter-Verfahren angewendet werden, siehe z.B. B. D. O. Anderson and J. B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice-Hall, 1979.

[0019] Die auf diese Weise erhaltenen Werte von X können sodann den normalen Demodulations- und Detektionsstufen zugeführt werden.

50 [0020] Die Werte der Matrix A hängen von den verwendeten Abbildungen C1 und C2 und den geometrischen und elektrischen Eigenschaften der Übertragungsleitung, d.h. von der Transfermatrix H, ab. Es ist möglich, dass die Charakteristika der Leitung so sind, dass A praktisch singulär ist, so dass eine zuverlässige Trennung der Signale unmöglich wird. Dies kann, wie weiter unten beschrieben, unter Umständen durch geschickte Wahl von C1 und C2 vermieden werden. Ansonsten ist die Dimension m von X zu reduzieren.

55 [0021] Die Matrix C1 der Verknüpfungskoeffizienten wird in einer einfachsten Ausführung so gewählt, dass in jeder Zeile nur ein Wert ungleich Null steht, d.h. es wird jedes Signal Xi in genau einen der Leiter 1, 2 bzw. 3 eingekoppelt. Insbesondere wenn die Hoch- bzw. Mittelspannungsleitung homogen ist, bietet es sich jedoch auch an, C1 so zu wählen, dass mindestens ein Teil der Signale Xi direkt in genau eine der Moden der Leitung eingekoppelt wird. So

EP 0 948 143 A2

kann z.B. im Falle von  $k=3$  und  $m=3$   $C_1$  gewählt werden als:

$$5 \quad C_1 = M = \begin{bmatrix} -0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ -0.5 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

10 wobei  $M$  die modale Matrix ist, die die Transfermatrix  $H$  eines homogenen Leitungsschnitts diagonalisiert. Wie in F. Eggimann, W. Senn und K. Mori, *Die trägefrequenten Übertragungseigenschaften von Hochspannungsleitungen*, Brown Boveri Mitteilungen 8-77 ausgeführt wird, diagonalisiert  $M$  im wesentlichen auch die Transfermatrizen einiger anderer Konfigurationen.

15 [0022] Mit der Wahl gemäß Gleichung (6) werden  $X_1$  und  $X_2$  direkt in die zwei Ausbreitungsmoden eingekoppelt, die sich unabhängig voneinander fortpflanzen. (In der Praxis genügt es, wenn die Spalten von  $C_1$  proportional zu jenen gemäß Gleichung (6) sind.)

[0023] Empfängersseitig wird  $C_2 = M^{-1}$  gewählt, so dass die Kanalmatrix  $A$  diagonal wird und  $X_1$  und  $X_2$  bereits praktisch getrennt vorliegen.

20 [0024] In vielen praktischen Anwendungen ist die Leitung jedoch nicht homogen, so dass eine kompliziertere Matrix  $C_1$  bzw.  $C_2$  gefunden werden muss, um die die Kanalmatrix  $A$  zu diagonalisieren. In diesem Falle wird  $C_1$  wie oben beschrieben vorzugsweise so gewählt, dass in jeder Zeile und Spalte genau ein Element ungleich Null vorhanden ist. Allerdings ist es auch denkbar, mittels Eichmessungen an der Leitung eine Form von  $C_1$  bzw.  $C_2$  zu finden, die die Kanalmatrix  $A$  besser invertierbar macht.

25 [0025] Zur Lösung der Gleichungen (4) oder (5) muss die Kanalmatrix  $A$  bekannt sein. In den meisten praktischen PLC-Systemen kann  $A$  nicht theoretisch ermittelt werden und kann sich ausserdem z.B. witterungsbedingt ändern. Es werden deshalb Kalibrierungsmessungen durchgeführt, um  $A$  experimentell zu ermitteln. Hierzu erzeugt der Sender Kalibrierungssignale  $\chi_i$ , einerseits nach der Inbetriebnahme, andererseits in regelmässigen Abständen im Normalbetrieb, so dass z.B. witterungsbedingte Änderungen der Kanalmatrix  $A$  kompensiert werden können. Der Empfänger, der die Form der Kalibrierungssignale  $\chi_i$  kennt, ermittelt daraus die Koeffizienten von  $A$ . Im zweidimensionalen Fall wird Gleichung (4) dann z.B. zu:

$$Y_1(t) = A_{11} \cdot \chi_1(t) + A_{12} \cdot \chi_2(t) + g_1(t) \quad (7)$$

35 [0026]  $\chi_1(t)$  und  $\chi_2(t)$  werden so gewählt, dass deren Kreuzkorrelationen im wesentlichen 0 sind und dass deren Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen, d.h. nur für eine Verschiebung von 0 ungleich Null sind. Hierzu können z.B. künstliche Rauschsignale verwendet werden. Somit können durch Korrelation von  $Y_1$  und  $Y_2$  mit  $\chi_1$  und  $\chi_2$  die Koeffizienten von  $A$  direkt ermittelt werden.

40 [0027] In den obigen Ausführungen wurde davon ausgegangen, dass die Kanaltransfermatrix  $H$  über den Frequenzbereich des PLC-Signals frequenzunabhängig ist. Im allgemeinen ist die Transferfunktion jedoch frequenzabhängig. 45 In diesem Fall wird z.B. Gleichung (7) verallgemeinert zu:

$$Y_1(t) = A_{11} * \chi_1(t) + A_{12} * \chi_2(t) + g_1(t) \quad (8)$$

50  $Y_2(t) = A_{21} * \chi_1(t) + A_{22} * \chi_2(t) + g_2(t),$

wobei \* die Faltung mit den Impulsantworten  $A_{ij}(t)$  kennzeichnet.

55 [0028] Die Erfindung kann auch auf diesen Fall angewendet werden. Die hierzu notwendigen Verfahren sind dem Fachmann bekannt. Es sei insbesondere auf die Methode der Wiener-Filterung verwiesen, siehe z.B. B. D. O. Anderson und J. B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice-Hall 1979.

[0029] Für die Übertragung digitaler Daten haben die Signale  $\chi_i$  die Form

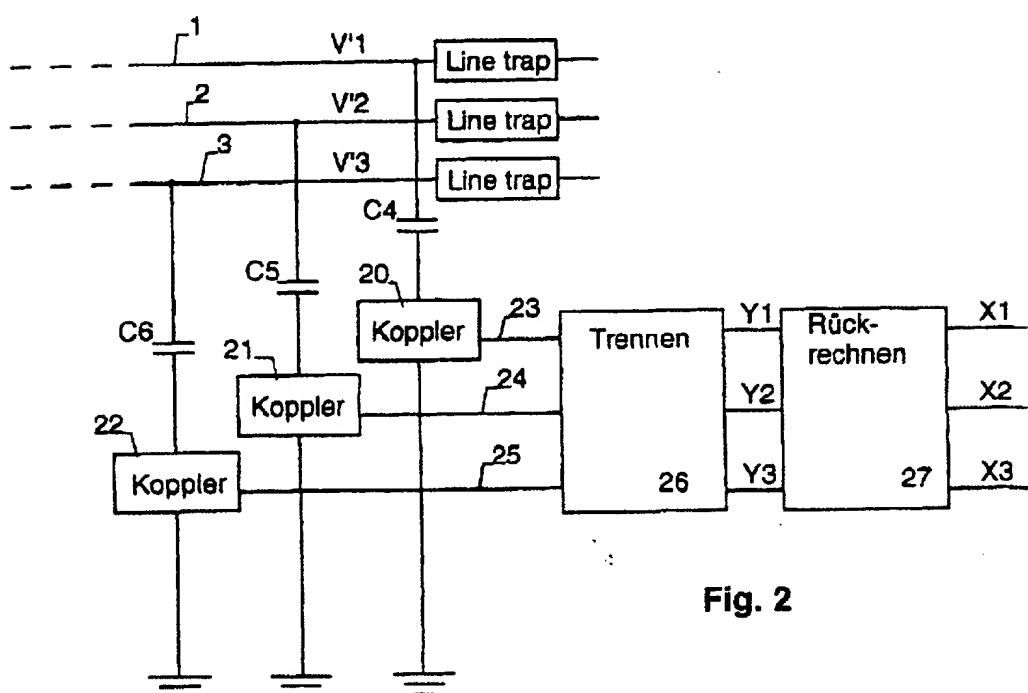
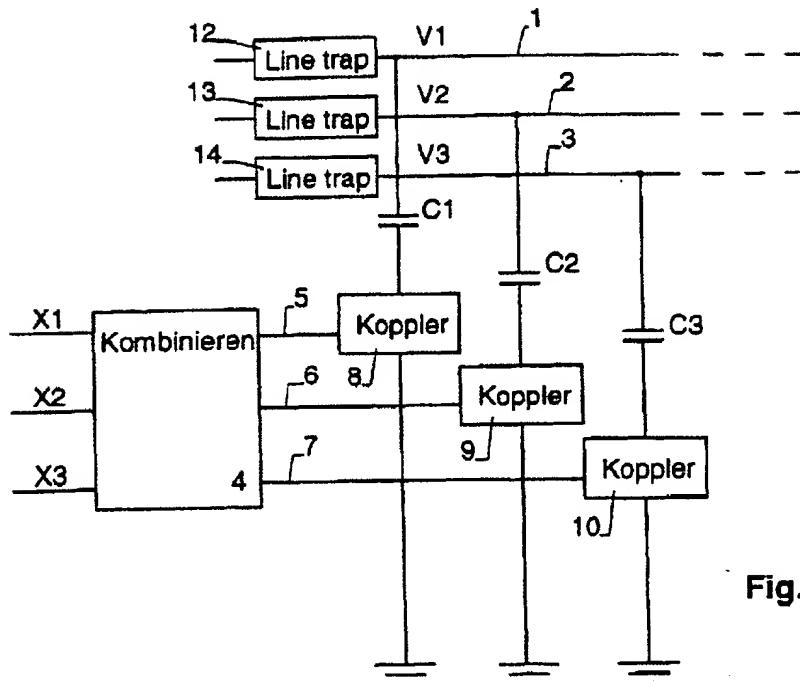
$$X_i = \sum \alpha_{ik} g(i-kT), \quad (9)$$

wobei  $\alpha_{ik}$  das quadraturamplituden-modulierte Datensymbol der  $i$ -ten Übertragung ist,  $g(t)$  die Pulsform und  $T$  die Symbolperiode (siehe J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1983). Da die Folge  $\alpha_k$  lediglich eine lineare Transformation des Signals  $X = X(t)$  ist, kann die Erfindung unter Verwendung bekannter Verfahren direkt auf diesen Fall ausgedehnt werden. In N. Amitay und J. Salz, *Linear equalization theory in digital data transmission over dually polarized fading radio channels*, AT&T Bell Lab. Techn. J., Vol.63, pp. 2215-2259 wird die Lösung eines mathematisch gleichwertigen Problems in einem anderen Übertragungssystem beschrieben.

10

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Signalen über eine Stromversorgungsleitung, insbesondere eine Hoch- oder Mittelspannungsleitung, mit mehreren Leitern, dadurch gekennzeichnet,  
  - dass aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) mehrere inhaltlich unterschiedliche Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) erzeugt werden,
  - dass jedes Sendesignal senderseitig in mindestens je einen der Leiter (1, 2, 3) eingekoppelt wird,
  - dass empfängerseitig aus mehreren der Leiter (1, 2, 3) mehrere Empfangssignale ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) ausgekoppelt werden, und
  - dass zur Ermittlung der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) die Empfangssignale rechnerisch miteinander verknüpft werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) eine Linearkombination der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) sind.
3. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass empfängerseitig die Datensignale als Linearkombination der Empfangssignale ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) ermittelt werden.
4. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens eine Kalibrierungsphase, in welcher senderseitig Daten- oder Sendesignale vorbestimmter Form erzeugt und die entsprechenden Empfangssignale analysiert werden, und dass daraus eine Vorschrift zum Ermitteln der Datensignale aus den Empfangssignalen ( $V'$ ) abgeleitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten- bzw. Sendesignale vorbestimmter Form ( $x$ ) derart sind, dass ihre Kreuzkorrelationen im wesentlichen Null sind und ihre Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einem normalen Betrieb wiederholt Kalibrierungsphasen eingeschaltet werden.
7. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) derart aus den Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) kombiniert werden, dass mindestens eines der Datensignale genau einen Mode der Stromversorgungsleitung (1, 2, 3) anregt.
8. Vorrichtung zur Signalübertragung mit einer Stromversorgungsleitung mit mehreren Leitern (1, 2, 3) gekennzeichnet durch  
  - eine Kombinier- und Einkopplerschaltung (4, 8, 9, 10) zur Erzeugung mehrerer inhaltlich unterschiedlicher Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) und zur Einkopplung der Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) in mehrere der Leiter (1, 2, 3), und
  - eine Auskoppler- und Auswerteschaltung (20, 21, 22, 26, 27) zum Auskoppeln von Empfangssignalen ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) aus mehreren der Leiter (1, 2, 3) und zum Ermitteln der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) aus den Empfangssignalen ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ).





(19)

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 948 143 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
06.10.1999 Patentblatt 1999/40

(51) Int Cl. 6: H04B 3/54, H04B 3/56

(21) Anmeldenummer: 99810219.8

(22) Anmelddatum: 11.03.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 03.04.1998 DE 19815040

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

(72) Erfinder: Dzung, Dacfey, Dr.  
54330 Wettigen (CH)

(74) Vertreter: Clerc, Natalia et al  
ABB Business Services Ltd,  
SLE-I, Intellectual Property  
5401 Baden (CH)

## (54) Verfahren und Vorrichtung zur Signalübertragung über Stromversorgungsleitungen

(57) Auf einer Hoch- oder Mittelspannungsleitung (1, 2, 3) werden mehrere inhaltlich unterschiedliche Signale (X1, X2, X3) übertragen. Hierzu werden die Signale zuerst linear kombiniert und dann über Koppler (8, 9, 10) in die Leitung eingespielt. Empfängerseitig

werden die Signale entkoppelt und demoduliert. Zur Entkopplung werden adaptive Techniken verwendet, welche es erlauben, die drei Signale unabhängig von sich verändernden Übertragungseigenschaften der Leitung wieder herzustellen.

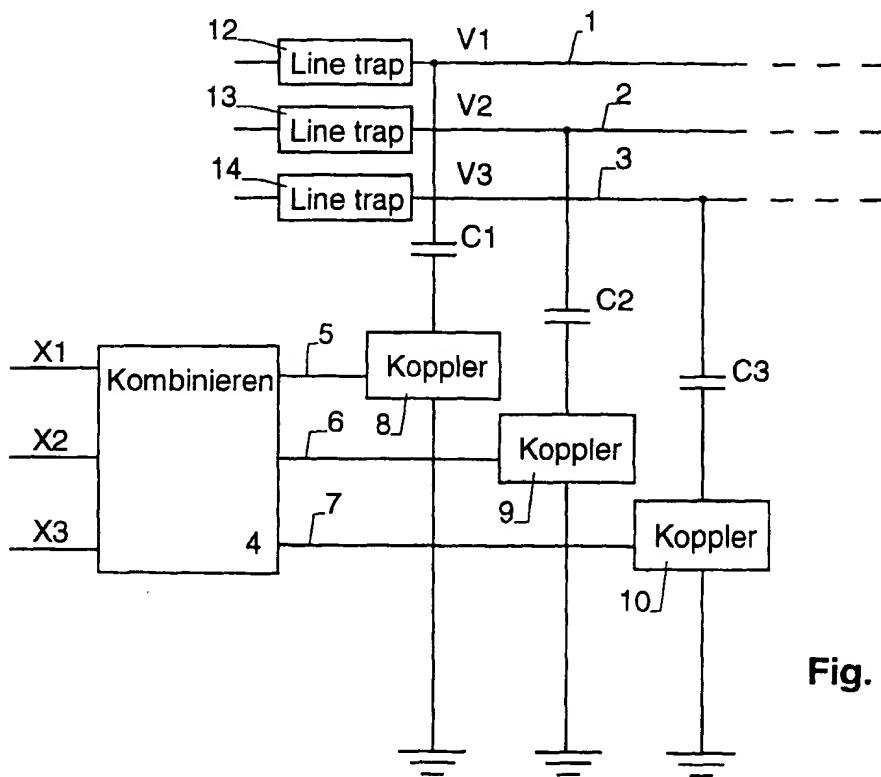


Fig. 1

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Übertragen von Signalen über eine Stromversorgungsleitung, insbesondere eine Hoch- oder Mittelspannungsleitung, gemäss Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

[0002] Sogenannte Power Line Carrier (PLC) Systeme zur Datenübertragung über Hoch-, Mittel- oder Niederspannungsleitungen sind wohlbekannt. In der Regel wird dabei ein Datensignal, welches z.B. Steuerdaten oder Sprache enthält, auf einen Träger aufmoduliert, und das modulierte Trägersignal wird in eine oder mehrere der Phasen und/oder in eine Abschirmung der Leitung eingekoppelt. Bei der Ausbreitung des Signals entlang der Leitung kommt es zu einer Signalkopplung zwischen den einzelnen Leitern, so dass alle Leiter zur Signalübertragung beitragen. Am Ort des Empfängers wird das Signal sodann aus einem der Leiter ausgekoppelt und demoduliert.

[0003] Zur Erhöhung der Datenübertragungsraten wurde z.B. versucht, Störungen möglichst gut zu unterdrücken oder herauszufiltern und/oder höhere Trägerfrequenzen einzusetzen, wobei man hierbei jedoch an Grenzen physikalischer Natur stösst.

[0004] Es stellt sich deshalb die Aufgabe, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der eingangs genannten Art bereitzustellen, die höhere Übertragungsraten erlaubt.

[0005] Diese Aufgabe wird vom Gegenstand der unabhängigen Ansprüche erfüllt. Erfindungsgemäss werden also aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen mehrere unterschiedliche Sendesignale erzeugt, wobei jedes Sendesignal in mindestens einen der Leiter eingekoppelt wird. Bei der Ausbreitung entlang der Hoch- bzw. Mittelspannungsleitung kommt es sodann zwar zu einer Vermischung der Signale - überraschenderweise zeigt es sich aber, dass es möglich ist, die Signale beim Empfänger wieder zu trennen und so die ursprünglichen Datensignale zu rekonstruieren.

[0006] In einer besonders einfachen Ausführung werden die Sendesignale im Sender als eine Linearkombination der auszusendenden Datensignale erzeugt bzw. die Empfangssignale werden im Empfänger linear kombiniert, um die Datensignale zu rekonstruieren.

[0007] Die Vorschrift zum Ermitteln der Datensignale aus den Empfangssignalen wird vorzugsweise in einer Kalibrierungsphase ermittelt. Hierbei werden senderseitig Kalibriersignale vorbestimmter Form erzeugt und empfängerseitig werden die entsprechenden Empfangssignale analysiert. Hierzu werden z.B. die Kalibriersignale derart gewählt, dass ihre Kreuzkorrelationen Null sind und ihre Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen. In diesem Fall können durch Berechnung der Korrelation zwischen den empfangenen Signalen und den vorgegebenen Signalformen die Übertragungscharakteristika der Übertragungsleitung und gegebenenfalls der Koppleranordnungen ermittelt werden.

[0008] Durch wiederholte Kalibrierungsphase zwischen normalen Betriebsphasen wird es zudem möglich, ändernde Übertragungseigenschaften der Starkstromleitung, z.B. aufgrund von Witterungseinflüssen, zu berücksichtigen.

[0009] Weitere bevorzugte Ausführungen und Anwendungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 die senderseitige Ausgestaltung einer Hochspannungsleitung mit Schaltungselementen zum Erzeugen und Einkoppeln der Sendesignale und

Fig. 2 die empfängerseitige Ausgestaltung der Hochspannungsleitung nach Fig. 1 mit den Schaltungselementen zum Auskoppeln und Demodulieren der Empfangssignale.

[0010] Die Figuren 1 und 2 zeigen eine mögliche Ausführung der Erfindung an einer Hochspannungsleitung mit drei Leitern 1, 2 und 3. Jeder dieser Leiter trägt eine Hochspannung von z.B. 500 kV. Die hier gezeigten Konzepte sind jedoch auch bei Hoch-, Mittel- und Niederspannungsleitungen mit einer anderen Zahl und Konfiguration von Leitern anwendbar.

[0011] Senderseitig liegen drei inhaltlich unterschiedliche Eingangs-Datensignale X1, X2 und X3 vor. Diese können z.B. von drei unterschiedlichen Signalquellen stammen oder durch Seriell/Parallelumwandlung eines einzigen seriellen Signals erzeugt worden sein. Die Datensignale X1, X2 und X3 werden in eine Kombinierschaltung 4 eingespielen, wo sie in weiter unten beschriebener Weise verknüpft werden. Die so erzeugten Signale 5, 6, 7 werden über drei Koppler 8, 9 und 10 mit Koppelkondensatoren C1, C2 und C3 in die Leitungen 1, 2 bzw. 3 eingekoppelt und erzeugen dort Sendesignale mit komplexer Amplitude V1, V2 und V3. Hierzu können z.B. konventionelle Kopplerschaltungen verwendet werden.

[0012] Vor der Einkopplung müssen die Signale einer Trägerfrequenz von z.B. einigen 100 kHz aufmoduliert werden. Dies kann entweder bereits vor der Kombinierschaltung 4 oder zwischen Kombinierschaltung 4 und Koppler 8, 9 bzw. 10 geschehen.

[0013] In der vorliegenden Ausführung sind die Leitungen gegen eine Seite hin über sog. "Line traps" 12, 13 und 14 abgeschirmt, so dass sich die Signale V1, V2 und V3 nur auf die andere Seite ausbreiten können. Da bei dieser

Ausbreitung die Signale der Trägerfrequenz nicht auf den drei Leitungen lokalisiert bleiben, kommt es zu einer starken Durchmischung und ausgangsseitig liegen Empfangssignale V'1, V'2 und V'3 vor, die in der Regel nicht mehr die gleiche Amplitude und Phase wie die Sendesignale V1, V2 bzw. V3 aufweisen.

[0014] Die Empfangssignale V'1, V'2 und V'3 werden über Kondensatoren C4, C5, C6 und Koppler 20, 21, 22 ausgekoppelt und über drei Leitungen 23, 24, 25 einer Trennschaltung 26 und einer Rückrechnungsschaltung 27 zugeführt. In diesen Schaltungen werden die Empfangssignale sodann in einer weiter unten beschriebenen Weise getrennt und verarbeitet, um die ursprünglichen Datensignale X1, X2 und X3 zu erhalten. Trennung und Rückrechnung können auch in einem einzigen Schritt bzw. einer kombinierten Auswerteschaltung gleichzeitig stattfinden.

[0015] Die empfangenen Signale müssen vor einer Verarbeitung von der Trägerfrequenz getrennt werden. Dies kann entweder vor oder nach der Trennschaltung 26 und der Rückrechnungsschaltung 27 geschehen.

[0016] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass über eine Leitung mit k Leitern in der Regel bis zu k PLC-Signale gleicher Frequenz übertragen werden können. Hierzu werden die senderseitigen Sendesignale V1, V2, V3 als eine Linearkombination der Eingangs-Datensignale X1, X2 und X3 erzeugt. In Matrix-schreibweise:

$$V = C1 \cdot X, \quad (1)$$

wobei  $V$  der Vektor  $\{V1, V2, \dots, Vk\}$  der Sendesignale,  $X$  der Vektor  $\{X1, X2, \dots, Xm\}$  der Eingangs-Datensignale und  $C1$  eine Matrix der Verknüpfungskoeffizienten ist.

[0017] Die empfängerseitigen Spannungssignale  $V' = \{V'1, V'2, \dots, V'k\}$  sind

$$V' = H \cdot V + N, \quad (2)$$

wobei die kkk-Matrix  $H$  die verallgemeinerte Transfermatrix der Leitung und  $N$  ein additives Rauschen ist. In der Trennschaltung 26 werden aus den Empfangssignalen  $V'$  die Ausgangssignale  $Y = \{Y1, Y2, \dots, Ym\}$  durch lineare Kombination berechnet:

$$Y = C2 \cdot V'. \quad (3)$$

Somit gilt

$$Y = C2 \cdot H \cdot C1 \cdot X + C2 \cdot N = A \cdot X + g \quad (4)$$

wobei  $A$  als Kanalmatrix und  $g$  als Rauschvektor bezeichnet wird. Gleichung (4) wird in der Rückrechnungsschaltung 27 näherungsweise nach  $X$  aufgelöst:

$$X = L \cdot Y. \quad (5)$$

[0018] In erster Näherung kann unter Vernachlässigung des Rauschens  $L = A^{-1}$  gesetzt werden. Stabilere Verfahren mit kleinster quadratischer Abweichung sind jedoch bekannt, siehe z.B. G. Strang, *Linear Algebra and its Applications*, Hartcourt Brace Javonich, 1988. Wenn  $X$  ein komplexes Vektorsignal mit bekanntem Spektrum ist, können auch Wiener-Filter-Verfahren angewendet werden, siehe z.B. B. D. O. Anderson and J. B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice-Hall, 1979.

[0019] Die auf diese Weise erhaltenen Werte von  $X$  können sodann den normalen Demodulations- und Detektionsstufen zugeführt werden.

[0020] Die Werte der Matrix  $A$  hängen von den verwendeten Abbildungen  $C1$  und  $C2$  und den geometrischen und elektrischen Eigenschaften der Übertragungsleitung, d.h. von der Transfermatrix  $H$ , ab. Es ist möglich, dass die Charakteristika der Leitung so sind, dass  $A$  praktisch singulär ist, so dass eine zuverlässige Trennung der Signale verunmöglicht wird. Dies kann, wie weiter unten beschrieben, unter Umständen durch geschickte Wahl von  $C1$  und  $C2$  vermieden werden. Ansonsten ist die Dimension  $m$  von  $X$  zu reduzieren.

[0021] Die Matrix  $C1$  der Verknüpfungskoeffizienten wird in einer einfachsten Ausführung so gewählt, dass in jeder Zeile nur ein Wert ungleich Null steht, d.h. es wird jedes Signal  $X_i$  in genau einen der Leiter 1, 2 bzw. 3 eingekoppelt. Insbesondere wenn die Hoch- bzw. Mittelspannungsleitung homogen ist, bietet es sich jedoch auch an,  $C1$  so zu wählen, dass mindestens ein Teil der Signale  $X_i$  direkt in genau eine der Moden der Leitung eingekoppelt wird. So

kann z.B. im Falle von  $k=3$  und  $m=3$   $\mathbf{C1}$  gewählt werden als:

$$\mathbf{C1} = \mathbf{M} = \begin{bmatrix} -0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ -0.5 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

wobei  $\mathbf{M}$  die modale Matrix ist, die die Transfermatrix  $\mathbf{H}$  eines homogenen Leitungsabschnitts diagonalisiert. Wie in F. Eggimann, W. Senn und K. Morf, *Die trägerfrequenten Übertragungseigenschaften von Hochspannungsleitungen*, Brown Boveri Mitteilungen 8-77 ausgeführt wird, diagonalisiert  $\mathbf{M}$  im wesentlichen auch die Transfermatrizen einiger anderer Konfigurationen.

[0022] Mit der Wahl gemäß Gleichung (6) werden  $X_1$  und  $X_2$  direkt in die zwei Ausbreitungsmoden eingekoppelt, die sich unabhängig voneinander fortpflanzen. (In der Praxis genügt es, wenn die Spalten von  $\mathbf{C1}$  proportional zu jenen gemäß Gleichung (6) sind.)

[0023] Empfängerseitig wird  $\mathbf{C2} = \mathbf{M}^{-1}$  gewählt, so dass die Kanalmatrix  $\mathbf{A}$  diagonal wird und  $X_1$  und  $X_2$  bereits praktisch getrennt vorliegen.

[0024] In vielen praktischen Anwendungen ist die Leitung jedoch nicht homogen, so dass eine kompliziertere Matrix  $\mathbf{C1}$  bzw.  $\mathbf{C2}$  gefunden werden muss, um die die Kanalmatrix  $\mathbf{A}$  zu diagonalisieren. In diesem Falle wird  $\mathbf{C1}$  wie oben beschrieben vorzugsweise so gewählt, dass in jeder Zeile und Spalte genau ein Element ungleich Null vorhanden ist. Allerdings ist es auch denkbar, mittels Eichmessungen an der Leitung eine Form von  $\mathbf{C1}$  bzw.  $\mathbf{C2}$  zu finden, die die Kanalmatrix  $\mathbf{A}$  besser invertierbar macht.

[0025] Zur Lösung der Gleichungen (4) oder (5) muss die Kanalmatrix  $\mathbf{A}$  bekannt sein. In den meisten praktischen PLC-Systemen kann  $\mathbf{A}$  nicht theoretisch ermittelt werden und kann sich außerdem z.B. witterungsbedingt ändern. Es werden deshalb Kalibrierungsmessungen durchgeführt, um  $\mathbf{A}$  experimentell zu ermitteln. Hierzu erzeugt der Sender Kalibrierungssignale  $\chi_i$ , einerseits nach der Inbetriebnahme, andererseits in regelmäßigen Abständen im Normalbetrieb, so dass z.B. witterungsbedingte Änderungen der Kanalmatrix  $\mathbf{A}$  kompensiert werden können. Der Empfänger, der die Form der Kalibrierungssignale  $\chi_i$  kennt, ermittelt daraus die Koeffizienten von  $\mathbf{A}$ . Im zweidimensionalen Fall wird Gleichung (4) dann z.B. zu:

$$Y_1(t) = A_{11} \cdot \chi_1(t) + A_{12} \cdot \chi_2(t) + g_1(t) \quad (7)$$

$$Y_2(t) = A_{21} \cdot \chi_1(t) + A_{22} \cdot \chi_2(t) + g_2(t).$$

[0026]  $\chi_1(t)$  und  $\chi_2(t)$  werden so gewählt, dass deren Kreuzkorrelationen im wesentlichen 0 sind und dass deren Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen, d.h. nur für eine Verschiebung von 0 ungleich Null sind. Hierzu können z.B. künstliche Rauschsignale verwendet werden. Somit können durch Korrelation von  $Y_1$  und  $Y_2$  mit  $\chi_1$  und  $\chi_2$  die Koeffizienten von  $\mathbf{A}$  direkt ermittelt werden.

[0027] In den obigen Ausführungen wurde davon ausgegangen, dass die Kanaltransfermatrix  $\mathbf{H}$  über den Frequenzbereich des PLC-Signals frequenzunabhängig ist. Im allgemeinen ist die Transferfunktion jedoch frequenzabhängig. In diesem Fall wird z.B. Gleichung (7) verallgemeinert zu:

$$Y_1(t) = A_{11} * \chi_1(t) + A_{12} * \chi_2(t) + g_1(t) \quad (8)$$

$$Y_2(t) = A_{21} * \chi_1(t) + A_{22} * \chi_2(t) + g_2(t),$$

wobei \* die Faltung mit den Impulsantworten  $A_{ij}(t)$  kennzeichnet.

[0028] Die Erfindung kann auch auf diesen Fall angewendet werden. Die hierzu notwendigen Verfahren sind dem Fachmann bekannt. Es sei insbesondere auf die Methode der Wiener-Filterung verwiesen, siehe z.B. B. D. O. Anderson und J. B. Moore, *Optimal Filtering*, Prentice-Hall 1979.

[0029] Für die Übertragung digitaler Daten haben die Signale  $\chi_i$  die Form

$$X_i = \sum \alpha_{ik} g(t-kT), \quad (9)$$

wobei  $\alpha_{ik}$  das quadraturamplituden-modulierte Datensymbol der i-ten Übertragung ist,  $g(t)$  die Pulsform und  $T$  die Symbolperiode (siehe J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1983). Da die Folge  $\alpha_{ik}$  lediglich eine lineare Transformation des Signals  $X = X(t)$  ist, kann die Erfindung unter Verwendung bekannter Verfahren direkt auf diesen Fall ausgedehnt werden. In N. Amitay und J. Salz, *Linear equalization theory in digital data transmission over dually polarized fading radio channels*, AT&T Bell Lab. Techn. J., Vol.63, pp. 2215-2259 wird die Lösung eines mathematisch gleichwertigen Problems in einem anderen Übertragungssystem beschrieben.

10

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Signalen über eine Stromversorgungsleitung, insbesondere eine Hoch- oder Mittelspannungsleitung, mit mehreren Leitern, dadurch gekennzeichnet,

dass aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) mehrere inhaltlich unterschiedliche Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) erzeugt werden,

dass jedes Sendesignal senderseitig in mindestens je einen der Leiter (1, 2, 3) eingekoppelt wird,

dass empfangsseitig aus mehreren der Leiter (1, 2, 3) mehrere Empfangssignale ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) ausgekoppelt werden, und

dass zur Ermittlung der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) die Empfangssignale rechnerisch miteinander verknüpft werden.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) eine Linearkombination der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) sind.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass empfängerseitig die Datensignale als Linearkombination der Empfangssignale ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) ermittelt werden.

30

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens eine Kalibrierungsphase, in welcher senderseitig Daten- oder Sendesignale vorbestimmter Form erzeugt und die entsprechenden Empfangssignale analysiert werden, und dass daraus eine Vorschrift zum Ermitteln der Datensignale aus den Empfangssignalen ( $V'$ ) abgeleitet wird.

35

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten- bzw. Sendesignale vorbestimmter Form ( $\chi$ ) derart sind, dass ihre Kreuzkorrelationen im wesentlichen Null sind und ihre Autokorrelationen im wesentlichen Deltafunktionen entsprechen.

40

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einem normalen Betrieb wiederholt Kalibrierungsphasen eingeschaltet werden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) derart aus den Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) kombiniert werden, dass mindestens eines der Datensignale genau einen Mode der Stromversorgungsleitung (1, 2, 3) anregt.

45

8. Vorrichtung zur Signalübertragung mit einer Stromversorgungsleitung mit mehreren Leitern (1, 2, 3) gekennzeichnet durch

50

eine Kombinier- und Einkopplerschaltung (4, 8, 9, 10) zur Erzeugung mehrerer inhaltlich unterschiedlicher Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Datensignalen ( $X_1, X_2, X_3$ ) und zur Einkoppelung der Sendesignale ( $V_1, V_2, V_3$ ) in mehrere der Leiter (1, 2, 3), und

eine Auskoppler- und Auswerteschaltung (20, 21, 22, 26, 27) zum Auskoppeln von Empfangssignalen ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ) aus mehreren der Leiter (1, 2, 3) und zum Ermitteln der Datensignale ( $X_1, X_2, X_3$ ) aus den Empfangssignalen ( $V'_1, V'_2, V'_3$ ).

55

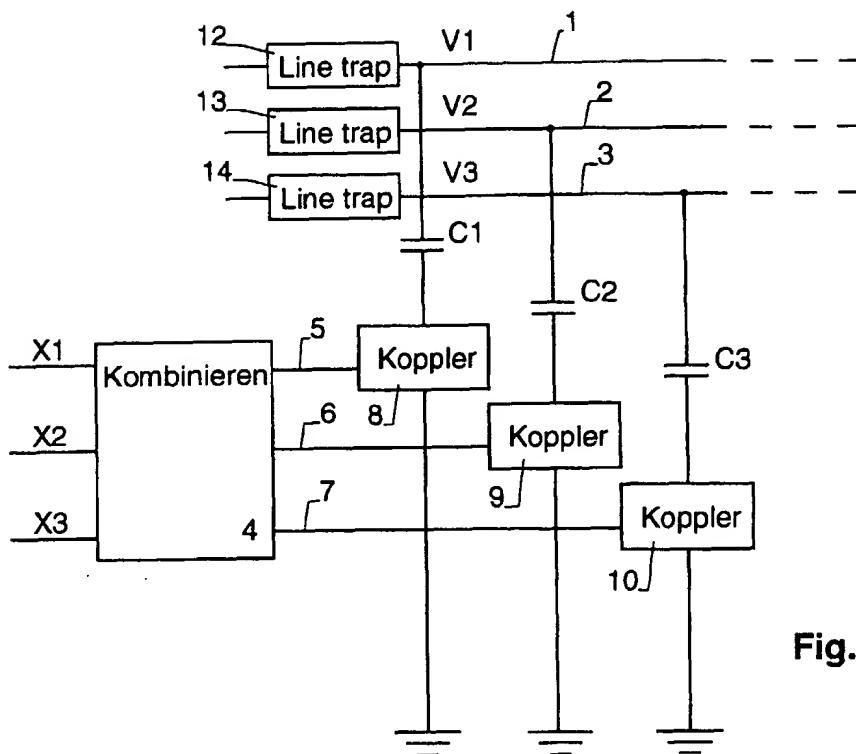


Fig. 1

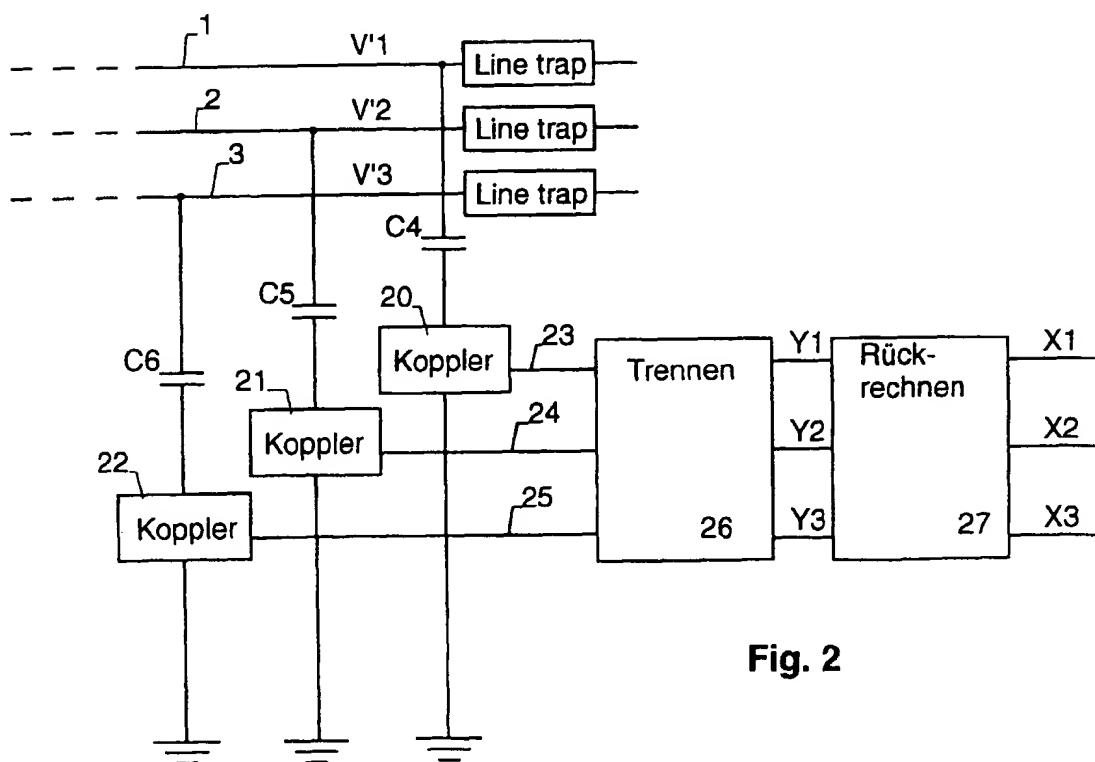


Fig. 2